

# Puesta a punto de un contador proporcional para la medida simultánea de la actividad alfa y beta

L. PUJOL (\*); J. A. SUÁREZ-NAVARRO (\*\*); M<sup>a</sup> FÉ DIAZ (\*\*\*)

**RESUMEN** El procedimiento habitual para la determinación de los índices de actividad alfa total y beta total en agua, consiste en la evaporación a sequedad de un determinado volumen de muestra sobre una plancheta de acero inoxidable. La posterior medida se realiza mediante un sistema de centelleo sólido de ZnS(Ag) (medida del índice de actividad alfa total) o un contador proporcional (medida de los índices de actividad alfa y/o beta total). En este artículo se presenta la puesta a punto del contador proporcional de muy bajo fondo Berthold LB 770-2 para la medida simultánea de los índices de actividad alfa total y beta total. Para ello se han determinado fondos ( $F$ ), eficiencias ( $E$ ), figuras de mérito ( $FM$ ), "spillover" y voltajes óptimos de trabajo para los dos modos de recuento de que dispone el contador (secuencial y simultáneo) y diferentes rangos de voltaje. Ambos modos de recuento presentan características similares en la medida beta ( $F \approx 0.8$  cpm,  $E \approx 42\%$  y  $FM \approx 2400$  cpm<sup>-1</sup>). Sin embargo, en la medida alfa se han encontrado mejores características de recuento en el modo secuencial ( $F \approx 0.03$  cpm,  $E \approx 24\%$  y  $FM \approx 23000$  cpm<sup>-1</sup>), que en el modo simultáneo ( $F > 0.05$  cpm,  $E \approx 22\%$  y  $FM \approx 10000$  cpm<sup>-1</sup>). Conviene señalar que en el modo simultáneo el tiempo de medida se reduce a la mitad respecto a la medida en modo secuencial, por lo que se eligió este modo de medida en los laboratorios del CEDEX para la determinación del índice de actividad beta total.

## SIMULTANEOUS DETERMINATION OF ALPHA AND BETA ACTIVITIES WITH A GAS-FLOW PROPORTIONAL COUNTER

**ABSTRACT** *The usual method for gross alpha and gross beta determination in water includes sample evaporation to dryness on a disk. Thereafter, counting is carried out using a ZnS(Ag) scintillation detector in order to determine gross alpha activity, or using a proportional counter in order to determine gross alpha and/or gross beta activities. This paper shows a comparative study between the two counting modes of the very low background Berthold LB 770-2 proportional counter, that is, simultaneous and sequential, in order to determine gross alpha and gross beta activities. In this work, the background ( $B$ ), the efficiency ( $E$ ), the figure of merit ( $FM$ ), the "spillover" (alpha counts into beta window) and optimized voltage were determined for both counting modes and for a width range of voltages. Both modes show similar characteristics for beta counting ( $B \approx 0.8$  cpm,  $E \approx 42\%$  and  $FM \approx 2400$  cpm<sup>-1</sup>). But, for alpha counting, sequential mode shows better counting conditions ( $F \approx 0.03$  cpm,  $E \approx 24\%$  and,  $FM \approx 23000$  cpm<sup>-1</sup>) than simultaneous mode ( $F > 0.05$  cpm,  $E \approx 22\%$  y  $FM \approx 10000$  cpm<sup>-1</sup>). It must be emphasized that the counting time for simultaneous mode is a half of the sequential mode, therefore simultaneous mode was selected in the laboratories of CEDEX for the measurement of gross beta activity.*

**Palabras clave:** Actividad beta total; Medida simultánea alfa/beta; Detectores de radiación; Vigilancia radiológica; Calidad del agua.

## INTRODUCCIÓN

Los contadores proporcionales de gas son utilizados habitualmente para la medida de los índices de actividad alfa total y beta total a partir de una matriz que contiene emisores de ambos tipos. Dichos índices se determinan con dos medidas a diferentes voltajes (medida en modo secuencial) o con

una sola medida a un voltaje determinado (medida en modo simultáneo).

Para estudiar y establecer las condiciones idóneas de los dos modos de medida en el contador proporcional es necesario la determinación de su curva característica y de su voltaje óptimo de trabajo. Este último se define como aquel valor de voltaje que proporciona la mejor figura de mérito. La figura de mérito ( $FM$ ) se define como:

$$FM = \frac{E^2}{F} \quad [1]$$

donde  $E$  es la eficiencia absoluta de recuento expresada en tanto por ciento y  $F$  son las cuentas totales del fondo (1).

(\*) Doctor en Física. Departamento de Impacto Ambiental de la Energía (CIEMAT). Ministerio de Industria y Energía.

(\*\*) Licenciado en Ciencias Químicas. Departamento de Impacto Ambiental de la Energía (CIEMAT). Ministerio de Industria y Energía.

(\*\*\*) Licenciada en Ciencias Químicas. Centro de Técnicas Aplicadas (CEDEX). Ministerio de Fomento.

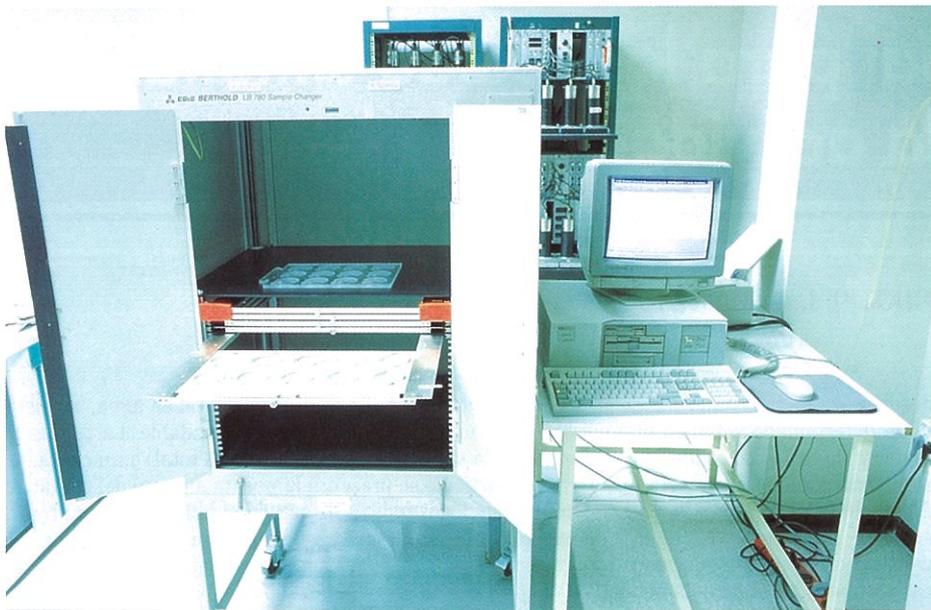


FIGURA 1. Sistema contador proporcional de flujo de gas LB 770-2 con cambiador automático de muestras LB-780 de los laboratorios del CEDEX.

Los contadores proporcionales permiten el recuento de muestras de muy baja actividad alfa y/o beta. El sistema LB 770, adquirido hacia finales de la década de los 80 en los laboratorios del CEDEX, sólo permitía la medida de muestras en modo secuencial, ya que su preamplificador LB 2016 no disponía de separación alfa/beta simultánea. En cambio, el sistema LB 770-2, adquirido recientemente, dispone del preamplificador LB 2025 que permite la separación alfa y beta y, por lo tanto, la medida simultánea de ambas radiaciones. En el presente trabajo se presenta un estudio comparativo de la medida en modo secuencial y en modo simultáneo en el recuento alfa y beta con el contador proporcional de muy bajo fondo Berthold LB 770-2 para su puesta a punto en los laboratorios del CEDEX.

## EXPERIMENTAL

### DESCRIPCIÓN DEL CONTADOR PROPORCIONAL

Las medidas fueron realizadas con el contador proporcional de flujo de gas Berthold LB 770-2 con cambiador automático de muestras LB 780 (Figura 1). El cambiador está provisto de cinco bandejas con diez portamuestras cada una (Figura 2), con lo que se puede programar la medida automática de un total de cincuenta muestras. El gas de recuento (P-10: 90% argón y 10% metano) fluye de forma continua. El contador dispone de 10 tubos detectores ultraplano dispuestos en dos filas de 5 unidades. Los detectores están rodeados por un blindaje de 10 cm de espesor de ladrillos de plomo (aproximadamente 650 kg) para atenuar la radiación gamma externa. Un sistema de anticoincidencias permite reducir el fondo ocasionado por los rayos cósmicos de más energía. El contador está provisto del preamplificador LB 2025 que permite la separación simultánea de los impulsos alfa y beta en virtud de su diferente ionización específica (2). Asociado al contador LB 770-2 se encuentra un sistema de adquisición de datos denominado "Data System LB 530PC" (Figura 3). Este sistema controla el "hardware" del detector y se comunica con un PC que controla la medida de muestras mediante el programa UMS. Los resultados pueden ser impresos o enviados a un fichero.

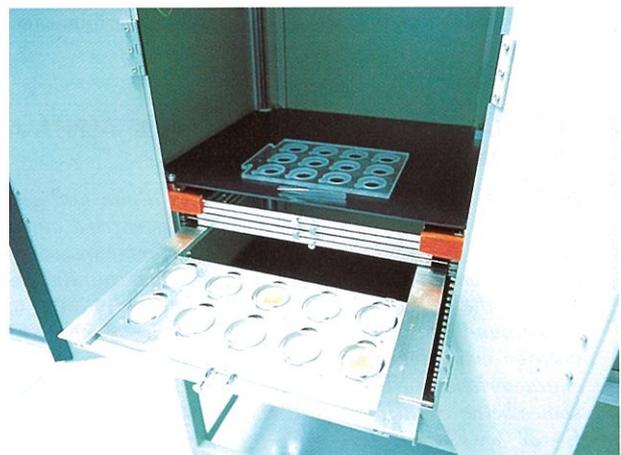


FIGURA 2. Detalle de la bandeja portamuestras del cambiador automático de muestras LB-780.



FIGURA 3. Sistema de adquisición de datos Data System LB 530PC.

**PRINCIPIOS DE LA MEDIDA SIMULTÁNEA ALFA/BETA**

Una partícula alfa que atraviesa un medio material produce mayor ionización específica que un electrón de la misma energía, y por lo tanto, una señal analógica mucho mayor, debido a su mayor masa en reposo (aproximadamente unas 8000 veces) (3). Este hecho ha de tenerse en cuenta para entender el proceso de medida simultánea alfa/beta, ya que con un nivel de discriminación apropiado el recuento de ambos tipos de partículas puede ser separado.

El contador proporcional, en el modo de medida simultáneo, está provisto de dos ventanas: alfa y beta. La ventana alfa consta de dos discriminadores con diferentes umbrales de separación de impulsos:  $U_1$  y  $U_2$ , siendo  $U_1 > U_2$ . La ventana beta consta de un discriminador  $U_3$  (4). Sea un impulso de amplitud  $E$  generado en el contador de flujo de gas, el sistema de separación de impulsos alfa/beta actúa como sigue: el impulso se dirige tanto al discriminador alfa como al discriminador beta, si  $E > U_1$  (umbral alto de la ventana alfa), el impulso será almacenado en la ventana alfa; si  $E > U_2$  (umbral bajo de la ventana alfa), se manda una señal de supresión de dicho impulso al discriminador beta; y si  $E > U_3$ , entonces dicho impulso, si no ha sido suprimido por la señal enviada por el discriminador alfa, será almacenado en la ventana beta (Figura 4).

Sin embargo, con esta técnica, ciertos impulsos alfa pueden encontrarse en la ventana beta y viceversa. A este fenómeno se le denomina "spillover". El valor del "spillover" en la ventana alfa o en la ventana beta necesita ser determinado para corregir de forma apropiada el recuento con una matriz que contenga ambos tipos de radiaciones.

Se define el "spillover" en la ventana alfa como la fracción de partículas beta contadas en la ventana alfa cuando se mide un patrón beta, y se expresa como:

$$"Spillover"_{ventana\ alfa} = \frac{cuentas_{patron\ beta}(ventana\ alfa)}{cuentas_{patron\ beta}(ventana\ beta)} \quad [2]$$

Se define el "spillover" en la ventana beta como la fracción de partículas alfa contadas en la ventana beta cuando se mide un patrón alfa, y se expresa como:

$$"Spillover"_{ventana\ beta} = \frac{cuentas_{patron\ alfa}(ventana\ beta)}{cuentas_{patron\ alfa}(ventana\ alfa)} \quad [3]$$

En ambos casos el "spillover" se determina realizando una sola medida en el voltaje óptimo de trabajo.

**"SPILLOVER" EN LA MEDIDA EN MODO SECUENCIAL**

La medida en modo secuencial consiste en medir una matriz con emisores alfa y beta a dos voltajes diferentes (y por lo tanto se requieren dos medidas distintas) en virtud del mayor poder de ionización específico de las partículas alfa. A un voltaje más bajo se determinan las partículas alfa, y a un voltaje más elevado se determinan las partículas alfa y beta. Por lo que, en este caso también puede presentarse una intrusión de cuentas beta en el voltaje de medida alfa y viceversa. Así pues, también es conveniente determinar el "spillover" para corregir de forma apropiada el recuento resultante de una medida con una matriz que contiene ambos tipos de radiaciones.

Se define el "spillover" en el voltaje de medida alfa como la fracción de partículas beta que se cuentan a dicho voltaje con un patrón beta, y se expresa como:

$$"Spillover"_{medida\ alfa} = \frac{cuentas_{patron\ beta}(V_{alfa})}{cuentas_{patron\ beta}(V_{optimo\ beta})} \quad [4]$$

Se define el "spillover" en el voltaje de medida beta como la fracción de partículas alfa que se cuentan en dicho voltaje con un patrón alfa, y se expresa como:

$$"Spillover"_{medida\ beta} = \frac{cuentas_{patron\ alfa}(V_{beta})}{cuentas_{patron\ alfa}(V_{optimo\ alfa})} \quad [5]$$

**PREPARACIÓN DE PATRONES Y DE FONDOS**

Se prepararon 10 patrones emisores alfa en planchetas de acero inoxidable de 5 cm de diámetro con americio-241 de actividad 120.8 Bq con fecha de referencia 1/2/1988, y 10 pa-

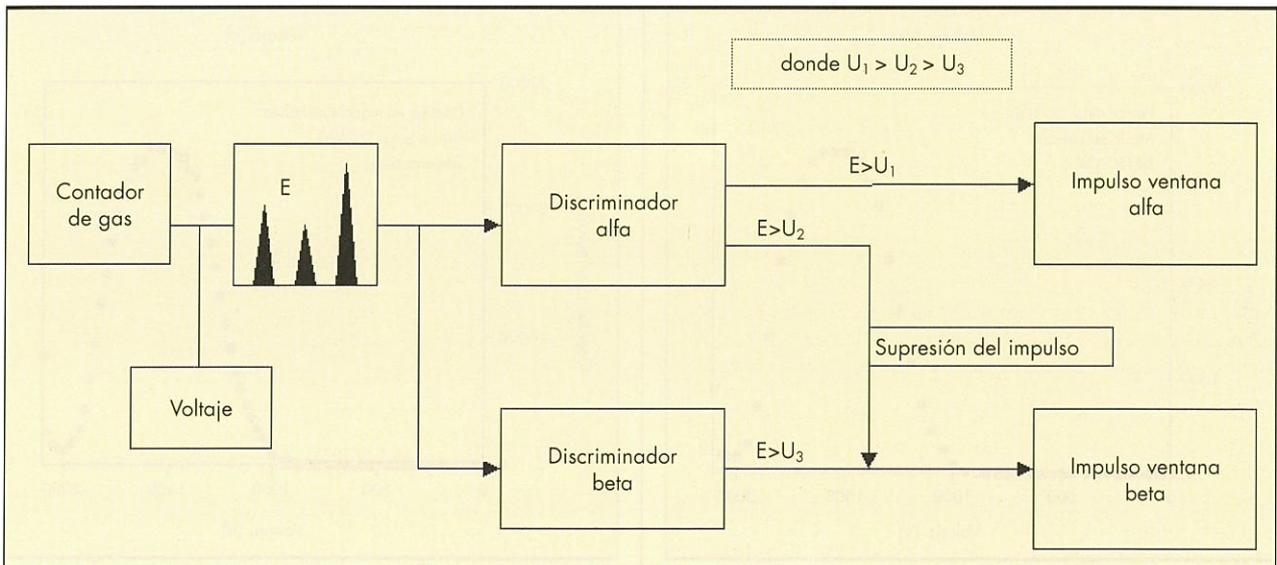


FIGURA 4. Diagrama funcional simplificado del discriminador alfa/beta del contador proporcional LB 770-2 (ver explicación en el texto).

trones emisores beta con estroncio/itrio-90 de actividad 196.3 Bq con fecha de referencia 30/6/1996, en el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). Los fondos se determinaron utilizando planchetas de acero inoxidable, limpias y vacías para cada uno de los detectores.

### ESTUDIOS REALIZADOS

Para cada uno de los diez detectores del contador proporcional LB 770-2, se realizaron los siguientes estudios en el modo de recuento secuencial y en el modo simultáneo:

1. Determinación de las curvas características con los patrones de americio-241 y estroncio/itrio-90. Los patrones alfa y beta se midieron desde 0 V hasta 2100 V, en incrementos de 25 V, durante 5 minutos para cada uno de los voltajes.
2. Determinación de las eficiencias con los datos del estudio anterior, y determinación de los fondos. Los fondos se midieron en el modo secuencial desde 50 V hasta 1950 V, en incrementos de 50 V. En modo simultáneo se midieron desde 1250 V hasta 1950 V. En ambos casos se midieron durante 1000 minutos para cada uno de los voltajes.

3. Determinación del "spillover" en modo secuencial y en modo simultáneo.
4. Determinación de las figuras de mérito a partir de los datos obtenidos en los estudios precedentes.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conviene señalar que, aunque el estudio se ha realizado para los diez detectores del contador proporcional LB770-2, sólo se exponen en este artículo los resultados correspondientes a uno de los detectores, sin pérdida de generalidad.

#### DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

En la Figura 5 se presentan las curvas características del modo de medida secuencial utilizando el patrón alfa y el patrón beta, respectivamente, para uno de los detectores de los laboratorios de medidas del CEDEX. Las partículas alfa producen unos impulsos de mayor amplitud por lo que el "plateau" alfa se presenta para voltajes inferiores que el "plateau" beta. Por otra parte, para el recuento de las emisiones alfa existe un "plateau" bastante amplio desde 300 a 1000 V y, para el recuento de las emisiones beta, el "plateau" se sitúa entre 1450 y 1650 V.

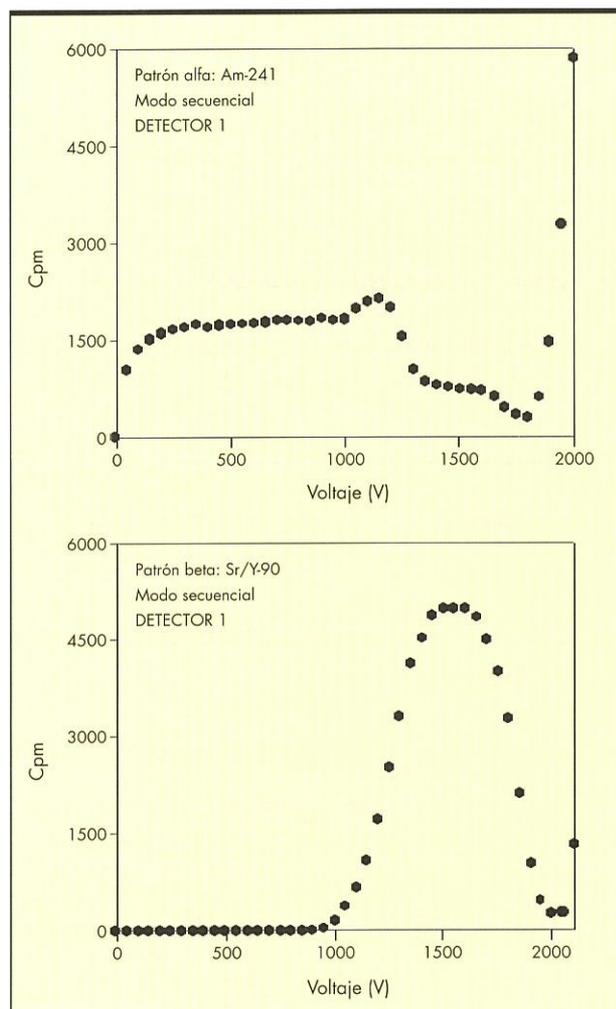


FIGURA 5. Curvas características del contador proporcional LB 770-2 en el modo secuencial.

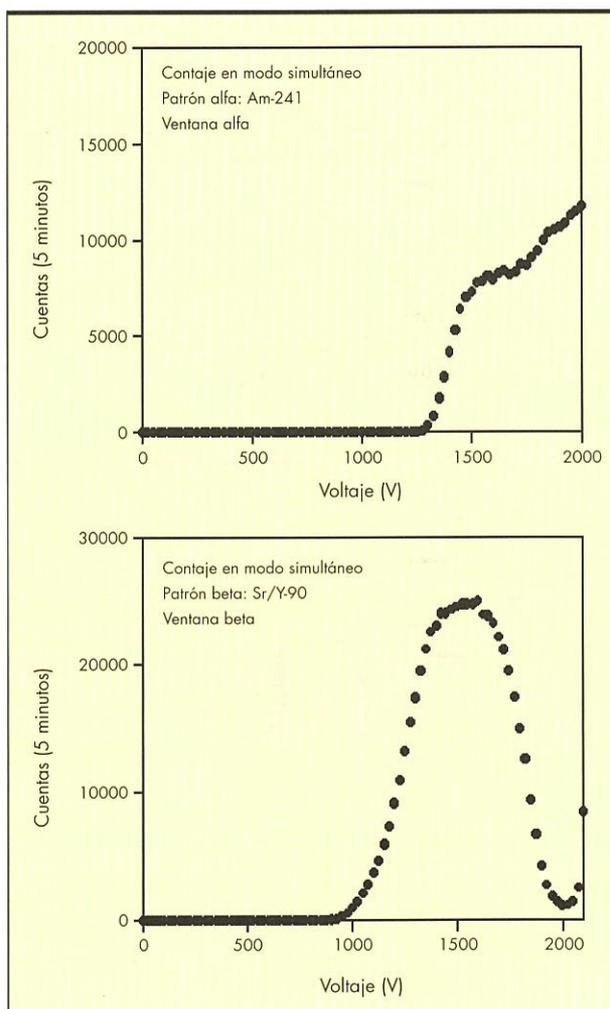


FIGURA 6. Curvas características del contador proporcional LB 770-2 en el modo simultáneo.

En la Figura 6 se presentan las curvas características para la ventana alfa y la ventana beta en el modo de medida simultáneo. Hasta aproximadamente 1300 V, no se registran impulsos en la ventana alfa en el recuento del patrón alfa, ya que los impulsos se almacenan en la ventana beta. El comportamiento del patrón beta es similar al observado en el modo secuencial. Por otra parte, tanto el "plateau" alfa como el beta se sitúan entre 1450 y 1650 V.

**DETERMINACIÓN DE EFICIENCIAS Y FONDOS**

En las tablas 1 y 2 se presentan las medidas de eficiencia y fondo en modo secuencial para las zonas de medida alfa y beta, respectivamente. En el caso de la zona de medida alfa, se observó que el fondo era inferior a 0.1 cpm hasta 950 V y que la eficiencia se mantenía prácticamente constante desde 300 a 1000 V, variando de un 23% a un 25%. Respecto a la medida beta, el fondo fue inferior a 1 cpm a partir de 1500 V y la eficiencia fue superior al 40% entre 1450 y 1650 V.

En la tabla 3 se presentan las medidas de eficiencia y fondo para las ventanas alfa y beta en modo simultáneo. En el caso de la ventana alfa, se observó que el fondo era inferior a 0.1 cpm hasta 1700 V y que la eficiencia varió entre un 22% y un 26% desde 1550 hasta 1800V. Respecto a la medida en la ventana beta, el fondo fue inferior a 1 cpm a partir de 1500 V y la eficiencia fue superior al 40% entre 1450 y 1650 V.

**DETERMINACIÓN DEL "SPILLOVER"**

En las Figuras 7 y 8 se representan el "spillover" para la medida alfa y la medida beta, respectivamente, en modo secuencial. Para la medida alfa se observó que el "spillover" sólo empezaba a ser apreciable a partir de 900 V. Como el voltaje de medida alfa fue inferior a este valor, no es necesario corregir el recuento alfa por "spillover" en matrices que contienen emisores alfa y beta. En cambio, para la medida beta, se observó que el "spillover" siempre era apreciable y que, para aproximadamente 1625 V (voltaje de medida beta recomendado por el fabricante del contador proporcional) este podía variar entre un 30% y un 40%.

En la Figura 9 se representa el "spillover" para las ventanas alfa y beta en modo simultáneo. Para la ventana alfa se observó que el "spillover" era despreciable hasta 1700 V. Como el voltaje de medida en modo simultáneo fue inferior a este valor, no era necesario corregir el recuento alfa por "spillover" en matrices que contegan emisores alfa y beta. En

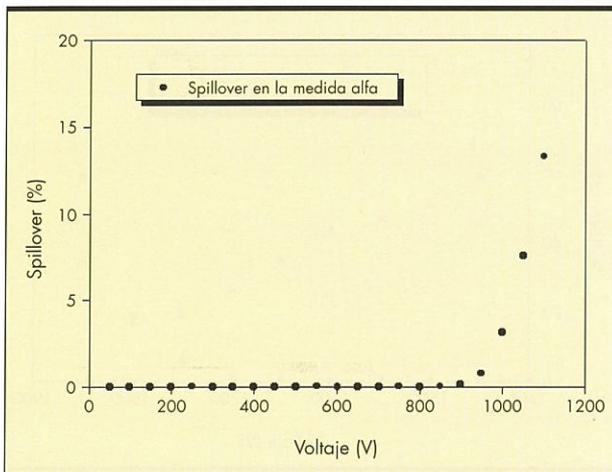


FIGURA 7. "Spillover" en la medida alfa en el modo secuencial.

Voltaje (V)	Cuentas patrón alfa (5 min)	Eficiencia (%)	Cuentas de fondo (1000 min)	Cpm fondo
50	5180	14.29	24	0.024
100	6785	18.72	16	0.016
150	7585	20.93	35	0.035
200	8010	22.10	20	0.020
250	8285	22.86	12	0.012
300	8470	23.37	28	0.028
350	8725	24.08	24	0.024
400	8510	23.48	21	0.021
450	8645	23.85	21	0.021
500	8730	24.09	42	0.042
550	8750	24.14	32	0.032
600	8815	24.32	26	0.026
650	8845	24.41	41	0.041
700	9055	24.99	45	0.045
750	9030	24.92	24	0.024
800	8975	24.77	38	0.038
850	8905	24.57	76	0.076
900	9140	25.22	74	0.074
950	9015	24.88	143	0.143
1000	9120	25.17	289	0.289
1050	9965	27.50	509	0.509
1100	10510	29.00	919	0.919

TABLA 1. Medidas de eficiencia y fondo en la zona de medida alfa en modo secuencial.

Voltaje (V)	Cuentas patrón alfa (5 min)	Eficiencia (%)	Cuentas de fondo (1000 min)	Cpm fondo
1250	7506	21.24	5748	5.748
1300	9939	28.13	8661	8.661
1350	12387	35.06	8297	8.297
1400	13563	38.39	4148	4.148
1450	14592	41.30	1391	1.391
1500	14910	42.20	879	0.879
1550	14913	42.21	851	0.851
1600	14913	42.21	820	0.82
1650	14538	41.14	791	0.791
1700	13482	38.16	713	0.713
1750	12027	34.04	601	0.601
1800	9852	27.88	525	0.525
1850	6315	17.87	442	0.442
1900	3093	8.75	434	0.434
1950	1365	3.86	438	0.438

TABLA 2. Medidas de eficiencia y fondo en la zona de medida beta en modo secuencial.

Voltaje (V)	Cuentas Ventana alfa (5 min)	Efic. alfa (%)	Cuentas de fondo ventana alfa (1000 min)	Cpm fondo	Cuentas Ventana beta (5 min)	Efic. beta (%)	Cuentas de fondo ventana beta (1000 min)	Cpm fondo
1250	5	0.01	24	0.024	13220	22.45	702	0.702
1300	349	0.96	2	0.002	17380	29.51	7694	7.694
1350	1738	4.80	11	0.011	21235	36.06	7945	7.945
1400	4166	11.50	36	0.036	23035	39.12	4127	4.127
1450	6410	17.69	33	0.033	24060	40.86	1525	1.525
1500	7345	20.27	39	0.039	24560	41.70	902	0.902
1550	7880	21.74	71	0.071	24710	41.96	764	0.764
1600	7940	21.91	63	0.063	25025	42.49	816	0.816
1650	8415	23.22	53	0.053	23840	40.48	721	0.721
1700	8350	23.04	102	0.102	22165	37.64	697	0.697
1750	8675	23.94	242	0.242	19460	33.04	649	0.649
1800	9455	26.09	716	0.716	14970	25.42	529	0.529
1850	10425	28.77	2093	2.093	9400	15.96	354	0.354
1900	10695	29.51	5493	5.493	4297	7.30	292	0.292
1950	11300	31.18	14330	14.33	1904	3.23	360	0.36

TABLA 3. Medidas de eficiencia y fondo en modo simultáneo.

cambio, para la ventana beta, se observó que el "spillover" siempre era apreciable y que, para aproximadamente 1625 V este podía variar entre un 30% y un 40%.

En consecuencia, tanto si se mide en modo secuencial como en modo simultáneo es necesario realizar la corrección por "spillover" en la medida beta.

**DETERMINACIÓN DE LA FIGURA DE MÉRITO**

Las figuras de mérito determinadas se han representado en función del voltaje y, los datos experimentales se han ajustado a una curva (Figuras 10 y 11). En todos los casos se ha podido determinar el valor del voltaje para el cual se producía el máximo de la figura de mérito (voltaje óptimo). En el caso de la medida alfa, para el modo secuencial se ha determinado que el máximo de la figura de mérito se producía a 375 V, en cambio para el modo simultáneo, el máximo se ha calculado para 1550 V. En el caso de la medida beta, el máximo de la figura de mérito en el modo secuencial y en el simultáneo se presentan en voltajes muy próximos entre sí, esto es, 1630 y 1625 V, respectivamente.

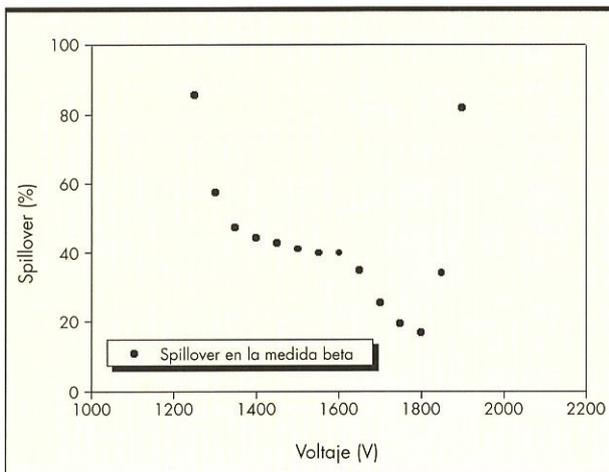


FIGURA 8. "Spillover" en la medida beta en el modo secuencial.

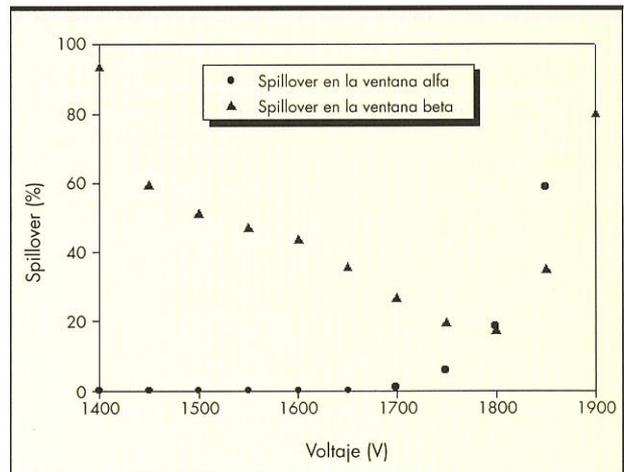


FIGURA 9. "Spillover" en la ventana alfa y beta en el modo simultáneo.

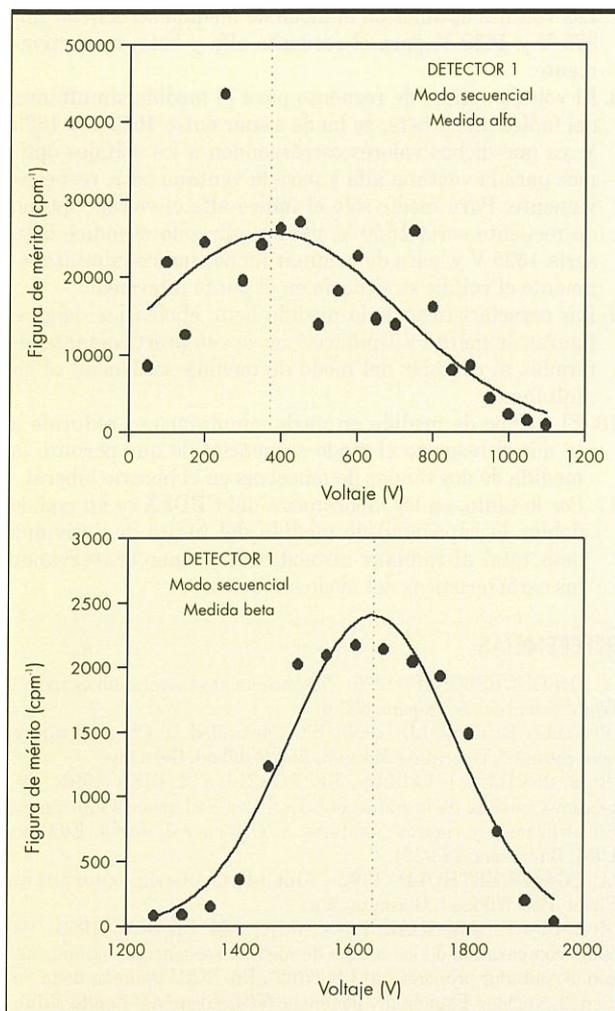


FIGURA 10. Figuras de mérito del contador proporcional LB 770-2 en el modo secuencial para la medida alfa y beta, respectivamente.

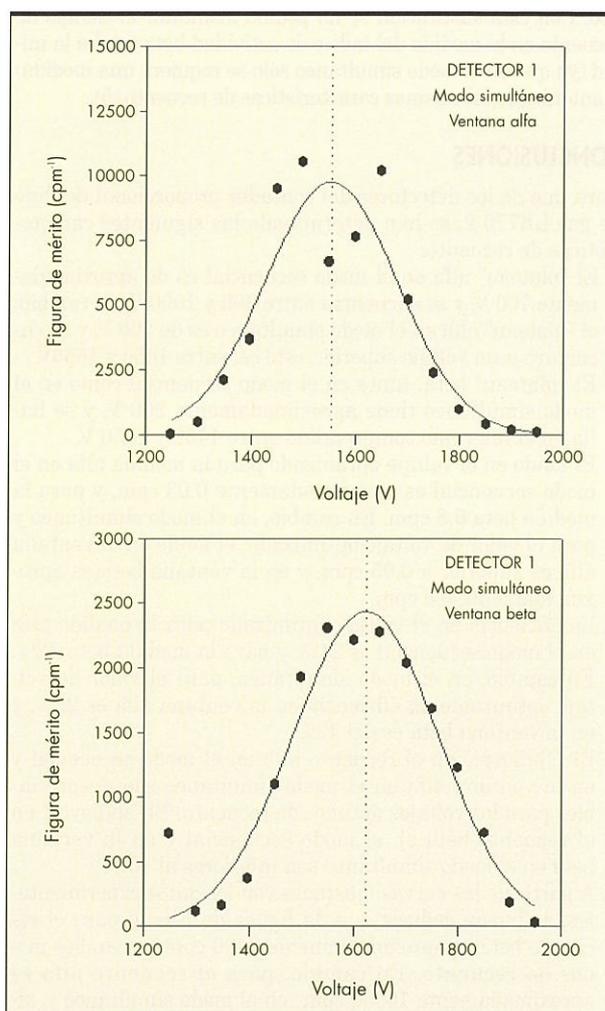


FIGURA 11. Figuras de mérito del contador proporcional LB 770-2 en el modo simultáneo para la ventana alfa y beta, respectivamente.

**RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MEDIDA EN MODO SECUENCIAL Y SIMULTÁNEO**

En la tabla 4 se resumen las características determinadas para los valores óptimos de recuento en el modo secuencial y en el modo simultáneo. Se observa que, en el recuento alfa en modo secuencial, el fondo y la eficiencia presentan mejores características que en modo simultáneo. Por lo tanto, la figura de mérito es superior en el modo secuencial (esto es, aproximadamente

23000  $\text{cpm}^{-1}$ ) que en el modo simultáneo (esto es, aproximadamente 10000  $\text{cpm}^{-1}$ ). Respecto al recuento beta, el modo secuencial y el modo simultáneo presentan características de recuento similares y, aproximadamente, la misma figura de mérito, esto es, 2400  $\text{cpm}^{-1}$ . Este hecho es importante, ya que en los laboratorios del CEDEX, se ha sustituido el contador proporcional LB 770, que sólo podía medir en modo secuencial, por el contador proporcional LB 770-2 para la medida beta en modo simultá-

Modo	Eficiencia (%)	Fondo (cpm)	FM ( $\text{cpm}^{-1}$ )	Voltaje Óptimo (V)	Spillover (%)
Secuencial: alfa	≈ 24	≈ 0.03	≈ 23000	375	0
Secuencial: beta	≈ 42	≈ 0.8	≈ 2400	1630	< 40
Simultáneo: alfa	≈ 22	> 0.05	≈ 10000	1550	0
Simultáneo: beta	≈ 42	≈ 0.8	≈ 2400	1625	< 40

TABLA 4. Resumen de las características de recuento para el modo secuencial y modo simultáneo en el contador proporcional Berthold LB 770-2 (patrón alfa: americio-241 y patrón beta: estroncio/itrio-90).

neo. Con esta sustitución se ha podido disminuir el tiempo de recuento en la medida del índice de actividad beta total a la mitad (ya que en el modo simultáneo sólo se requiere una medida) manteniendo las mismas características de recuento (5).

## CONCLUSIONES

Para uno de los detectores del contador proporcional de flujo de gas LB770-2, se han determinado las siguientes características de recuento:

1. El "plateau" alfa en el modo secuencial es de aproximadamente 700 V, y se encuentra entre 300 y 1000 V, en cambio, el "plateau" alfa en el modo simultáneo es de 200 V, y se encuentra a un voltaje superior, esto es, entre 1450 y 1650V.
2. El "plateau" beta, tanto en el modo secuencial como en el modo simultáneo tiene aproximadamente 200 V, y se halla en el intervalo comprendido entre 1450 y 1650 V.
3. El fondo en el voltaje optimizado para la medida alfa en el modo secuencial es aproximadamente 0.03 cpm, y para la medida beta 0.8 cpm. En cambio, en el modo simultáneo y para el valor de voltaje optimizado, el fondo en la ventana alfa es superior a 0.05 cpm, y en la ventana beta es aproximadamente 0.8 cpm.
4. La eficiencia en el voltaje optimizado para la medida alfa en el modo secuencial es 24%, y para la medida beta 42%. En cambio, en el modo simultáneo, para el valor de voltaje optimizado, la eficiencia en la ventana alfa es 22%, y en la ventana beta es del 42%.
5. El "spillover" en el recuento alfa en el modo secuencial y en la ventana alfa en el modo simultáneo son despreciables para los voltajes óptimos de recuento. El "spillover" en el recuento beta en el modo secuencial y en la ventana beta en el modo simultáneo son inferiores al 40%.
6. A partir de las curvas ajustadas con los datos experimentales, se puede deducir que, la figura de mérito para el recuento beta es aproximadamente  $2400 \text{ cpm}^{-1}$  en ambos modos de recuento. En cambio, para el recuento alfa es aproximadamente  $10000 \text{ cpm}^{-1}$  en el modo simultáneo y, alrededor de  $23000 \text{ cpm}^{-1}$  en el modo secuencial.

7. Los voltajes óptimos en el modo de medida secuencial son 375 V y 1630 V, para el recuento alfa y beta, respectivamente.
8. El voltaje óptimo de recuento para la medida simultánea del índice alfa y beta, se ha de situar entre 1550 V y 1625 V, ya que dichos valores corresponden a los voltajes óptimos para la ventana alfa y para la ventana beta, respectivamente. Para medir sólo el índice alfa el voltaje óptimo de recuento sería 1550 V, para medir sólo el índice beta sería 1625 V y, para determinar ambos índices simultáneamente el voltaje se situaría en el punto intermedio.
9. Las características de la medida beta: eficiencias, fondos, figuras de mérito y "spillover" no se ven prácticamente alteradas al cambiar del modo de medida secuencial al simultáneo.
10. El tiempo de medida en modo simultáneo es reducido a la mitad respecto el modo secuencial, lo que permite la medida de dos tandas de muestras en el horario laboral.
11. Por lo tanto, en los laboratorios del CEDEX se ha podido doblar la capacidad de medida del índice de actividad beta total al cambiar al modo simultáneo conservando las características del modo secuencial.

## REFERENCIAS

- (1) THEODORSSON, P. (1996) "Measurement of weak radioactivity", World Scientific, Singapore, 333 p.
- (2) EG&G BERTHOLD (1996) "PC-Controlled 10 Channel alpha-beta counter", Operating Manual, Bad Wildbad, Germany.
- (3) M. SEVILLA, I. VALLÉS, J.R. ROSELL Y X. DIES (1994) "Detección y medida de la radiación", En: "Las Radiaciones Ionizantes. Su utilización y riesgos", editores X. Ortega y J. Jorba, Edicions UPC, Barcelona, 283-301.
- (4) EG&G BERTHOLD (1992) "Alpha-Beta-Discriminator", Data Sheet, Bad Wildbad, Germany, 4 p.
- (5) L. PUJOL, J.A. SUAREZ-NAVARRO Y M<sup>a</sup> FÉ DIAZ (1999) "Estudio comparativo de los modos de medida secuencial y simultáneo con el contador proporcional LB 770-2", En: "XXV Reunión de la Sociedad Nuclear Española", ponencia 9-04, Granada, Senda Editorial, Madrid.

## PUBLICIDAD

# IVE, soluciones viables

Ingeniería de Vías Elásticas, S.A. es una compañía líder en sistemas de soporte y fijación de vía atenuadores de vibraciones. Desde hace más de 30 años trabaja conjuntamente con el ferrocarril y con las empresas de ingeniería aportando nuevas tecnologías, ligadas principalmente a la mejora del impacto medio ambiental, el confort del viajero, la seguridad, fiabilidad y costes de mantenimiento. En este tiempo, hemos sabido mantenernos en vanguardia de las necesidades ferroviarias.

Las soluciones y equipos que proponemos, basados en nuestras distribuidas/representadas, EDILON BV, TIFLEX UK, PANDROL; atenúan el ruido y vibraciones, tanto en vía hormigonada como en balasto, con rendimientos probados y notables y son de aplicación en **Tranvías, Ferrocarriles y Alta Velocidad**. Las últimas realizaciones en éste ámbito son, la adecuación de del Bloque Antivibratorio para vía hormigonada de ferrocarriles de carga ligera a carga pesada tipo RENFE-AVE; el Puente Silencioso y la Placa Bajo Travesía Atenuadora de Impactos, protectora del balasto, para Alta Velocidad.

Desde el punto de vista de seguridad, nuestros bloques para vía hormigonada sin riostra entre cada pareja, y el "Carril Embebido", procuran espacios extra para evacuación en túneles. El segundo sistema hace la vía totalmente transitable, facilitando el mantenimiento y la asistencia sin necesidad de vehículos especiales. En el área del Metro Ligero/Tranvía nuestro sistema de "Carril Embebido" con Corkelast se impone en Europa realizándose la losa con canaletas incluidas, por medio de pavimentadora y el vertido del Corkelast por medios mecánicos. La última realización, en Holanda, ha sido la confección de una losa hormigonada de doble vía con las cuatro canaletas por medio de una pavimentadora adaptada. Con este sistema se obtiene gran calidad de acabado de la losa, de la vía y mayor velocidad de confección.(260/300 mts/día). La fijación elástica "FASTCLIP" de nuestra distribuida Pandrol, UK se está imponiendo en el mundo en progresión geométrica. En España este sistema tiene colocadas tres vías de prueba, una en RENFE y dos en el AVE Madrid-Sevilla.

Nuestros tres pilares "**Sistema de Carril Embebido con Corkelast**", **Bloques Elásticos y Placas Elásticas Bajo Travesía** son la base de nuestra oferta para los ferrocarriles ligeros, urbanos, pesados y de alta velocidad.

Nuestros logros en España, la satisfacción de clientes como: RENFE, AVE, Metro de Madrid, Tranvías de Valencia, La Coruña y Bilbao; FGC, Euskotren, FEVE, FGV, TMB, Metro de Bilbao, Ferrocarrils de Mallorca, etc.

IVE (Ingeniería de Vías Elásticas, S.A.) • c/ Tellerille, 1 • BILBAO 48004 • Tel. +34944112100 • Fax. +34944121022 • www.ivesa.com • E mail: ive@jet.es